

Pekka Sipari  
Tero Jalkanen  
Denis Siponen

## Äänen heijastuminen erilaisista meluesteistä





Pekka Sipari, Tero Jalkanen, Denis Siponen

# Äänen heijastuminen erilaisista meluusteista

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 29/2017

Liikennevirasto  
Helsinki 2017

*Kannen kuva: Denis Siponen*

Verkkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-417-7

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

**Pekka Sipari, Tero Jalkanen ja Denis Siponen: Äänen heijastuminen erilaisista meluesteistä.** Liikennevirasto, tekniikka ja ympäristö -osasto. Helsinki 2017. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 29/2017. 24 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-417-7.

**Avainsanat:** ääni, heijastuminen, melu, meluesteet, standardit

## Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa selvitettiin lähinnä standardin SFS-EN 1793-5 (Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 5: Intrinsic characteristics. In situ values of sound reflection under direct sound field conditions) soveltuvuutta meluesteiden äänen heijastavuuden/absorption mittaukseen. Tutkimuksen päätavoitteina soveltuvuuden osalta oli selvittää eri rakenteilla saavutettavien arvojen vaihtelua, mittauksen toistettavuutta ja soveltuvuutta meluesteiden ikääntymisvaikutusten seurantaan sekä sitä, miten uusia mittalukuja voidaan soveltaa Liikenneviraston laatuvaatimuksissa.

Kaikkiaan suoritettiin lähes kolmekymmentä heijastavuusmittausta erilaisilla meluesterakenteilla ja niiden variaatioilla. Tutkittujen meluesteiden (lukuun ottamatta akustisesti kovia pintoja) yksilukuarvoiset heijastavuudet/absorptiot vaihtelivat taajuusalueelta 200–5000 Hz laskettuina välillä 4–10 dB. Yksilukuarvoiset heijastavuudet/absorptiot eivät poikenneet juuri edellisistä myöskään, mikäli tarkastelualueena oli 200–2000 Hz.

Eri variaatioilla tutkittiin dekoratiivisten puurimoitusten vaikutusta saataviin tuloksiin. Niiden vaikutus saataviin tuloksiin oli hieman ristiriitainen ja vaatii jatkossa lisätutkimusta. Rimoitus vähensi absorptiota, kun ne oli asennettu suoraan meluesteen pintaa ja lisäsi sitä, kun rimoitus oli irrotettu pinnasta.

Varioimalla rakenneratkaisuja pyrittiin myös jäljittelemään ikääntymisen aiheuttamien muutoksien vaikutuksia saataviin tuloksiin. Erään meluesteen pintaa esimerkiksi liattiin veden ja hiekan avulla. Likaantumisen vaikutus jäi nyt odotettua vähäisemmäksi ja kaipaa jatkossa lisätutkimusta. Lisäksi villan iän myötä tapahtuvan mahdollisen painumisen tai absorptiokyvyn vähenemisen absorptiota pienentävä vaikutus saatiin selvästi näkyviin.

Toistettavuusmittauksia suoritettiin rajoitetusti. Niissä mitattiin menetelmän toistettavuutta (uusittavuutta) käytäntöä ajatellen mittauskohdan ja kulman mahdollisesti muuttuessa eri mitauskerroilla. Toistettavuustarkasteluja tehtiin myös laskennallisesti.

Tutkimuksessa havaittiin, että uusien mittalukujen vertaaminen vanhoihin laboratoriossa mitattuihin absorptioarvoihin ei ole järkevää tai tarkoituksenmukaista, koska menetelmät poikkeavat huomattavasti toisistaan. Tutkimuksen perusteella uusi SFS-EN 1793-5 mukainen mittausten menetelmä on yksilukuarvoisen heijastavuuden/absorption osalta varsin toistettava, vaikka kapeampien taajuusalueiden osalta vaihtelua hieman esiintyi heijastavuusindeksien osalta. Näin ollen se soveltuu meluesteen heijastavuuden/absorption mittauksiin sekä pitemmän aikavälein suoritettaviin seurantamittauksiin ja ikääntymisvaikutusten arviointiin. Alustavasti arvioiden heijastavuuden/absorption seurantamittauksia voidaan suorittaa paljon alle standardin vaatimaa meluesteen 4 metrin vähimmäiskorkeutta. Uusia yksilukuisia mittalukuja voidaan käyttää myös meluesteiden absorption luokittelussa ja valittaessa meluesteitä kohdekohtaisesti. Arvoja ei suoraan voi hyödyntää melun leviämismallinnuksissa, joilla arvioidaan kauempana asuvien melun kokemista.

Tutkimuksen tuloksia voitaneen hyödyntää myös eurooppalaisten standardin EN 1793-5 jatkokehityksessä.

**Pekka Sipari, Tero Jalkanen och Denis Siponen: Ljud reflektion från olika bullerskydd.** Trafikverket, teknik och miljö. Helsingfors 2017. Trafikverkets undersökningar och utredningar 29/2017. 24. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-417-7.

## Sammanfattning

I undersökningen har granskats främst lämplighet av standard SFS-EN 1793-5 (Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 5: Intrinsic characteristics. In situ values of sound reflection under direct sound field conditions) att mäta ljudreflektion / absorption av bullerskydd. Forskningens huvudsyfte angående lämpligheten var att upplysa; variation mellan värden uppnått med olika konstruktioner, repeterbarhet av mätningar, användbarhet att mäta periodvis inflytanden på följd av ändringar orsakade av bullerskydds åldring samt hur nya mätetal kan tillämpas i kvalitetskrav av Finlands Trafikverket.

Allt i alt nästan trettio reflektionsmätningar utfördes med olika konstruktioner och med varianter av dessa. På frekvens område 200–5000 Hz kalkylerade reflektions/absorptions entalsvärden av undersökte bullerskydd (med undantag av akustiska hårda ytor) varierade mellan 4 och 10 dB. Entalsvärdena avvek inte så mycket från de föregående värden, även om dem hade kalkylerats på frekvens område 200–5000 Hz.

Med varianterna forskades inflytandet av dekorativa träribbverk till resultaten. Påverkan av dessa till resultaten var litet motstridig och kräver forskningstillskott i framtid. Ribbverket minskade absorption, när det var installerat direkt till ytan av bullerskydd och ökade den när dem var avkopplat från den.

Därtill med modifikationer i konstruktionsupplösningar syftades till att imitera förändringar på följd av åldringen och deras påverkan till uppnådda resultat. Till exempel ytan av ett bullerskydd smutsades med sand och vatten. Nedsmutsningens påverkan blev nu oväntat ringa och kräver forskningstillskott. Därtill förminskande påverkan av absorptionsförmågan på följd av den möjliga sjunkningen av ylltet i längden eller minskning av absorptionsförmågan var framträdande.

Repeterbarhetsmätningarna utfördes i begränsade mängd. Repeterbarhet (reproducerbarhet) mättes även på syn av praktiken, då mätningställe och -vinkel kan eventuellt ändras med separata mätningsgångar. Repeterbarheten behandlades också med hjälp av kalkylationer.

I undersökningen noterades, att jämförelsen mellan nya mätningstal och gamla absorptionsvärden enligt laboratoriemätningar inte är förnuftiga eller ändamålsenliga, eftersom metoderna avviker avsevärt från varandra.

Enligt undersökningen den nya metoden är mycket repeterbar angående entalsvärden av reflektion/absorption, ändå det fanns något variation av reflektionsindex på smalare frekvensbanden. Således, passar den till reflektions/absorptionsmätningar av bullerskydden samt till periodiska långvariga kontrollmätningar och till estimeringen av åldringseffekter. Preliminärt det kan uppskattas, att reflektions-/absorptions-kontrollmätningarna kan utföras också med bullerskydd, höjd av vilka är märkbart mindre än det 4 meter minimum höjd förutsätts i standarden. De nya entalsvärden kan utnyttjas också i klassificeringen av absorption av bullerskydd och när man väljer bullerskydd till enstaka föremål. Värden kan inte utnyttjas direkt i bullerspridningsmodeller, som är använda, att estimerar invånarnas upplevelse av buller på längre håll.

Resultaten av undersökningen kan möjligtvis utnyttjas också i utvecklingen av den europeiska standarden EN 1793-5 i fortsättningen.

**Pekka Sipari, Tero Jalkanen and Denis Siponen: Sound reflection from different noise barriers.** Finnish Transport Agency, Engineering and Environment Department. Helsinki 2017. Research reports of the Finnish Transport Agency 29/2017. 24 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-417-7.

## Summary

In this report, mainly the applicability of the standard SFS-EN 1793-5 (Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 5: Intrinsic characteristics) was studied. In situ values of sound reflection under direct sound field conditions) to measure the sound reflection/ absorption of noise barriers were studied. In order to study the suitability the main targets were to clarify; the variation of the values between different types of structure, repeatability of the measurements, applicability to the periodic measurements of ageing effect and how these measured values can be applied in the quality requirements of Finnish Transport Agency.

Altogether almost thirty reflection measurements were carried out with different noise barrier structures and with their modifications. Single value of reflection/absorption of the studied noise barriers at frequency band 200–5000 Hz varied between 4–10 dB (the acoustically hard surfaced are not taken in to account). The values did not even deviate much, if they were calculated at frequency band 200–2000 Hz.

With modifications the effect of decorative wooden lathing on the results are studied. The effect of them on the results was slightly contradictory and needs some extra research to be done in the future. The lathings reduced absorption, if they were installed directly to the surface of the noise barrier and increased it, if they were not fixed directly to the surface.

With variations simulating changes due to ageing effects and their effect on the results were studied, too. For example the surface of one noise barrier was dirtied with sand and water. However, the effect of the dirtied surface remained smaller than expected, and needs more research later on. In addition, the decreasing of the absorption due to subsidence of the wool during time or other type of the decreasing of the absorption capacity was clearly noticeable.

Repeatability measurements carried out were limited. In those repeatability (or reproducibility) was measured taking in to account that in practice at different measurement times also the place or measuring angle can change a little bit. Repeatability considerations were also made based on calculations.

It was noticed in the study that comparisons between new measures with old absorption values measured in laboratory are not reasonable or appropriate, since the measuring methods differ greatly from each other.

According to the study the new method to measure single value of reflection/absorption is quite repeatable, although there were some slight variations in the reflection indices at narrower bands. Thus, the method is applicable to reflection measurement of noise barriers and periodic control measurements both for estimation of ageing effects. Preliminary thought, reflection/absorption control measurements may be carried out with noise barrier, the height of which is much lower than that 4 meter minimum height required by the standard. New measures can also be utilized in classification and choosing noise barriers in practice case by case. Measures cannot be used directly in noise propagation models, which are used to estimate the noise experiences of those living farther from the barrier.

The results of the study may be perhaps utilized, when the European standards EN 1793 -5 is developed further.

## Esipuhe

Tutkimuksen tavoitteena on ollut tuottaa tietoa melusteiden akustisista ominaisuuksista yleiseen käyttöön ja selvittää mittausten menetelmän muutosten vaikutusta Liikenneviraston laatuvaatimuksiin.

Tutkimuksen ovat rahoittaneet Liikennevirasto, Hansa Rakenne Oy, SEPA Oy ja Urakointiasennus M. Rautio Oy. Liikennevirastossa työtä on ohjannut Kari Lehtonen. Tutkimuksen tekemisestä ja raportin laatimisesta ovat vastanneet Pekka Sipari ja Tero Jalkanen VTT Expert Services Oy:stä sekä Denis Siponen Ades Oy:stä.

Tutkimuksesta on tämän Liikenneviraston julkaisun lisäksi laadittu laajempi VTT Expert Service Oy:n tutkimusraportti.

Helsingissä toukokuussa 2017

Liikennevirasto  
Tekniikka ja ympäristö -osasto



# Sisällysluettelo

1	JOHDANTO .....	8
2	TUTKIMUKSEN TAVOITE .....	9
3	KIRJALLISUUSKATSAUSTA JA TAUSTAA .....	10
4	YLEISTÄ ÄÄNEN HEIJASTAVUUDESTA JA ABSORPTIOSTA .....	12
5	SUORITETUT MITTAUKSET JA MITTAUSOHJELMA .....	14
6	HEIJASTAVUUSMITTAUSTEN TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU .....	15
6.1	Yksilukuarvoiset tulokset .....	15
6.2	Eri taajuuksia koskevia havaintoja ja toistettavuus .....	17
6.3	Laboratorio- ja kenttämittausmenetelmien tulosten vertailua .....	19
7	ERISTÄVYYDEN MITTAUS .....	21
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	22
	LÄHTEET .....	24

# 1 Johdanto

Tämä tutkimus oli jatkoa Liikenneviraston aiemmin tilaamille Adrienne2012- ja Adrienne2013-tutkimuksille. Aiemmissa tutkimuksissa mitattiin melusteiden äänen-eristävyyttä standardin EN 1793-6 [4] mukaisesti. Tutkimuksen tavoitteena oli myös saada mittausosaaminen akkreditointikuntoon ja saada Liikennevirastolle edellytykset käyttää menetelmän mukaisia mittauksia laatuvaatimuksena.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin standardin SFS-EN 1793-5 mukaisiin heijastavuusmittauksiin. Standardin mukaisia äänen heijastavuuden mittauksia tehtiin melueste valmistajien erilaisille meluesterakenteille. Mittausten tavoitteena oli selvittää ja arvioida menetelmän soveltuvuus melusteiden äänen heijastavuuden mittaamiseen, mittauksien käytettävyyttä ikääntymisvaikutusten seurantaan ja mittaustulosten soveltuvuutta laatuvaatimusten antoon. Tätä tehtiin kartoittamalla erilaisilla rakenteilla saavutettavia heijastavuuden arvoja tarkastelemalla mittauksien yleistä toistettavuutta ja aiheuttamalla keinotekoisesti vanhenemisilmiötä muistuttavia tilanteita muun muassa kastelemalla ja likaamalla meluesterakenteita. Lisäksi tutkittiin, miten dekoratiivisten rimoitusten käyttö vaikuttaa saataviin mittaustuloksiin.

Tutkimuksessa käytiin jonkin verran läpi myös kirjallisuudesta löytyviä ulkomailla saatuja tuloksia ja niitä verrattiin tässä tutkimuksessa saatuihin tuloksiin.

## 2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on ollut:

1. Hankkia osaaminen EN 1793-5 mukaisiin mittauksiin.
2. Saada yleiskäsitys sen antamista tuloksista verrattuna EN 1793-2 antamiin tuloksiin, jotta Liikennevirasto voi asettaa äänen heijastumiselle laatuvaatimuksia.
3. Tuottaa valmistajille tietoa niiden tuotteiden, prototyyppien ja muunnelmien äänen absorptiosta.
4. Arvioida koristerimoitusten, likaantumisen, kastumisen ym. vaikutus tuloksiin.

Päätavoitteiden saavuttamiseksi osatavoitteiksi valittiin:

- tutkia, mitä heijastavuus/absorptio arvoja rakenteeltaan erilaisilla meluesteille menetelmällä saadaan,
- arvioida menetelmän soveltuvuutta, kun meluesteen pintaan asennetaan dekoratiivisia rimoituksia ja sitä, miten paljon nämä vaikuttavat saatuihin lukuarvoihin,
- tutkia toistomittauksin mittausten menetelmän toistettavuutta, ja
- arvioida miten vanhenemisilmiöitä kuvaavat keinotekoiset muutokset vaikuttavat saatuihin lukuarvoihin ja arvioida sen perusteella mittausten soveltuvuutta seurantamittauksiin.

### 3 Kirjallisuuskatsausta ja taustaa

Standardien EN 1793-5 ja 6 mukaan (Adrienne-menetelmä) voidaan mitata rakenteen heijastavuus (sound reflection index) ja ääneneristävyys (sound insulation index). Menetelmät perustuvat äänilähteen lähettämän signaalin suoran ja heijastuneen (heijastavuus) sekä esteen läpi ja suoraan ilman estettä (ääneneristävyys) kulkevien komponenttien siirtofunktioiden arvioimiseen.

Standardien mukaisia menetelmiä voidaan käyttää sekä tien varrella olevien meluesteiden, että mittauksia varten hallitiloihin pystytettyjen meluesteiden akustisten ominaisuuksien mittaamiseen.

Ääneneristävyyssmittaus antaa standardin EN 1793-6 mukaisella menetelmällä tuloksia, jotka vastaavat kohtuullisen hyvin laboratoriossa tehtävien EN 1793-2 mukaisten mittausten tuloksia: Mitattujen rakenteiden paremmuusjärjestys säilyy suunnilleen samana, vaikka mittausmenetelmä vaihtuu toiseen. Standardin mukaan eristävyys mitataan erikseen sekä elementille että pilarille. Näistä laskettava globaalieristävyys painottaa kauempana meluesteestä pilarin osuutta liian paljon ottaen huomioon, että mittausalue vastaa noin 0,8 m leveää aluetta.

Standardin EN 1793-5 mukaisissa heijastavuusmittauksissa mitataan heijastavuusindeksit  $RI$ . Heijastavuusindekseistä voidaan laskea niin sanottu yksilukuarvoinen heijastavuus  $DL_{RI}$ , joka kuvaa harhaanjohtavasta nimestään huolimatta kentällä mitattavaa absorptiota. Suuri  $DL_{RI}$ -arvo tarkoittaa suurta äänen absorptiota (tai rakenteen läpi menoa) ja pientä heijastumista Kirjallisuudessa on vertailtu laboratoriossa tehtäviä EN 1793-1 mukaisia absorptiomittauksia ja niiden tuloksena saatavaa arvoa  $DL_{\alpha}$  standardin EN 1793-5 mukaiseen heijastavuuden/absorption arvoon  $DL_{RI}$ .

Kenttämittaustandardien EN 1793-5 (äänenheijastuminen) ja EN 1793-6 (ääneneristävyys) osalta on esitetty jo yli kymmenen vuoden ajalta erilaisia tuloksia. Tässä on pääosin keskitytty viimeisimpiin standardissa EN 1793-5 esitettyihin lähteisiin (/1/, /2/, /3/ ja /4/). Katsauksessa on sivuttu myös kentällä tehtävää ääneneristävyyden mittausta EN 1793-6 mukaan.

Garain ja Guidorzin tutkimuksissa (/1/ ja /2/) on esitetty uusien standardien mukaisen kentällä tehtyjen heijastumismittausten tuloksia ja vertailtu niitä perinteisten laboratoriomittausten antaman absorptiotuloksiin. Kappaleen 4 taulukoissa 1 ja 2 on esitetty laboratorio- ja kenttämittauksessa saatuja yksilukuarvoja absorptiolle/heijastavuudelle. Tutkimuksissa on tehty vertailua eri meluestetyyppejä välillä. Tuloksista ei tarkkaan ilmene meluesteiden rakenne eikä käytetty mittausmenetelmä, joten niiden vertailu nyt suoritettuihin mittauksiin on mahdotonta. Toisaalta saatujen tuloksien pohjalta voidaan karkeasti haarukoida, mitä arvoja olisi tässä tutkimuksessa odotettavissa.

Standardissa EN 1793-5 (/8/) on menetelmän toistettavuudelle ja uusittavuudelle annettu rajoja, joita voi myös käyttää nyt tehtyjen mittausten toistettavuuden arvioinnissa.

Quiesst 2012 Guidebook to noise reducing devices optimisation käsittelee nimensä mukaisesti meluesteiden optimointia (/3/). Oppaassa on esitetty esimerkiksi kuvina paljon havainnollista ja hyödyllistä aineistoa melun etenemisestä yleisellä tasolla.

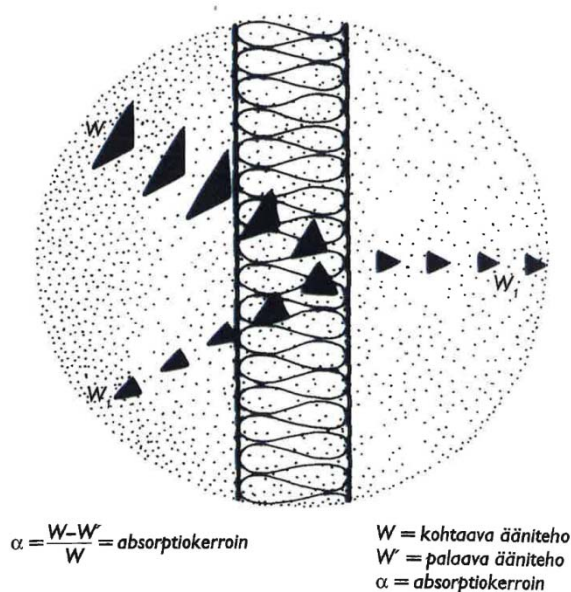
Lisäksi on pohdiskeltu mittaustulosten käytettävyyttä melun mallinnuksessa sekä lähi- että kaukokentässä.

Kirjallisuuslähteet tai standardi eivät anna ohjeita siitä, miten paikallisten viranomaisten tulisi soveltaa saatuja mittaustuloksia käytännössä. Tarkoitus on ollut, ettei mitään raja-arvoja anneta, vaan tavoitteiden mukaisesti esimerkiksi melumallinnuksen perusteella kohteeseen valitaan vaatimukset täyttävä melueterakenne.

## 4 Yleistä äänen heijastavuudesta ja absorptiosta

Absorptiokerroin (mittaus EN 1793-1 mukaisesti) on esteeseen kohdistuvan ja siihen absorboituvan äänitehon suhde (kuva 1). Laboratoriossa tehtävästä absorptio-kertoimen mittauksesta voidaan määrittää äänenheijastuskerroin  $r$  vähentämällä absorptiokerroin  $\alpha$  arvosta 1 eli ( $r = 1 - \alpha$ ). Periaatteessa heijastuskerroin on läheistä sukua heijastusindeksille  $RI$  (mittaus EN 1793-5 mukaisesti) ja voidaan ajatella, että arvo  $1 - RI$  vastaa heijastusmittauksen absorptiota ja meluesteen läpimennyt äänitehoa. Heijastuskerroin ja myös heijastusindeksi lasketaan esteeseen kohdistuvan ja siitä heijastuvan äänitehon suhteena. Kuitenkin ne poikkeavat merkittävästi toisistaan sekä mittaustilanteen äänikentän ja äänen etenemisen kannalta. Sen lisäksi, että itse lähety- ja vastaanottotasojen mittaus sekä niiden tulosten käsittely kannalta poikkeaa toisistaan, pääeroavaisuudet ovat:

- Laboratoriossa äänikenttä on diffuusi (jolloin ääntä kohdistuu pintaan joka suunnasta lähes samalla ääniteholla), kun taas kenttämittauksessa äänilähde tuottaa lähes suoran ääniaallon (äänisignaali tulee varsin kohtisuoraan pinta vasten ja myös heijastuu siitä varsin kohtisuorasti).
- Laboratoriossa tehtävissä absorptiomittauksissa rakenteen läpi menevä ääniteho jää suurimmaksi osaksi pois, kun taas heijastuvuuden kenttämittauksissa myös läpimenevä ääniteho saattaa vaikuttaa heijastuvuustuloksiin eri rakenteilla.
- Laboratoriossa tehtävissä absorptiomittauksissa mitataan kahden seinäelementin puolikkaan ja yhden pilarin keskimääräistä äänen absorptiota, kun taas heijastuvuuden kenttämittauksissa mitataan pyöreää halkaisijaltaan 4 m aluetta.



Kuva 1. Periaatteellinen kuva äänen kulkeutumisesta kohdatessaan esteen.

EN 1793-5 mukainen kenttämittausmenetelmän on havaittu olevan herkkä juuri melu-esterakenteen (ääni)impedanssille, jolloin siinä korostuvat esimerkiksi rakenteen ja sen pinnan omat ominaisvärähtelytaajuuudet. Menetelmä EN 1793-5 antaa hyvän kuvan siitä, miten ääni heijastuu rakenteesta sen välittömään läheisyyteen /1/.

Laboratoriossa tehtäviä EN 1793-1 mukaisia absorptiomittauksista saatavaa arvoa  $DL_\alpha$  on usein verrattu standardin EN 1793-5 mukaisesti saatuun arvoon  $DL_{RI}$ , koska niiden kaavat on samanmuotoisia ja ne kuvaavat molemmat absorptiota. Alla olevista kirjallisuudessa esitetyistä taulukoista 1 ja 2 nähdään, että  $DL_\alpha$  arvolle ja  $DL_{RI}$ -arvolle ei ole saatu yleistä korrelaatiota. Sen sijaan rei'itettyjen villalla täytettyjen metallikasettien osalta  $DL_\alpha$ -arvo näyttää olevan 3...4 kertaa  $DL_{RI}$ -arvo. Tuloksista ei voi päätellä, koskeeko suhde myös muunlaisia metallikasetteja kuin mittauksissa olleita.

*Taulukko 1. Yksilukuarvoja absorptiokertoimelle ja heijastavuudelle (taajuusalue 100–5000 Hz/laboratoriomittaus ja taajuusalue 250–5000 Hz/ kenttämittaus) /1/.*

Sample	Type	$\alpha_w$ [dB] lab. 100 to 5k Hz	$DL_\alpha$ [dB] lab. 100 to 5k Hz	$DL_\alpha$ [dB] lab. 250 to 5k Hz	$DL_{RI}$ [dB] outdoors 250 to 5k Hz
CON1	Concrete	0.75	9	10	6
CON2	Concrete	0.65	6	7	4
CON3	Concrete	0.90	10	12	4
CON4	Concrete	0.65	5	6	3
CON5	Concrete	0.50	5	5	2
CON6	Concrete	0.20	1	1	0
MET1	Metal	1.00	20	20	5
MET2	Metal	1.00	18	20	5
MET3	Metal	0.95	16	20	5
MET4	Metal	0.15	0	0	0
MET5	Metal	0.95	8	9	4
MET6	Metal	0.95	19	20	6
MET7	Metal	0.95	13	20	5
RES1	Resin	0.80	8	9	4
ACR1	Acrylic	0.10	0	0	0
MIX1	Met./Acr.	0.60	4	4	3
WOOD	Wood	0.65	8	8	4

*Taulukko 2. Yksilukuarvoja absorptiokertoimelle ja heijastavuudelle (taajuusalue 100–5000 Hz/laboratoriomittaus ja taajuusalue 250–5000 Hz/ kenttämittaus) /2/.*

Barrier type	Road traffic spectrum		High speed train spectrum	
	$DL_\alpha$ [dB] Laboratory	$DL_{RI}$ [dB] In situ	$DL_\alpha$ [dB] Laboratory	$DL_{RI}$ [dB] In situ
Metallic cassettes filled with rock wool (2000)	20	7	20	9
Metallic cassettes filled with glass wool (2005)	20	6	20	8
Timber/Metal cassettes filled with glass wool (2005)	20	5	20	7
Concrete panels with a porous side (2001)	5	1	7	3
Concrete panels with a porous side (2005)	—	2	—	3
Framed acrylic sheets (1999)	0	0	0	1
Framed acrylic sheets and concrete panels (2005)	—	–1	—	0

## 5 Suoritetut mittaukset ja mittausohjelma

Mittausohjelmaan kuului lähinnä heijastavuusmittauksia. Niiden yhteydessä suoritettiin myös joitakin ääneneristävyyksmittauksia. Mitatut rakenteet A...E ja heijastavuuden mittaustulokset on esitetty taulukossa 3.

Alustavia heijastusmittauksia tehtiin VTT Expert Services Oy:n kaiuntahuoneen pinnoittamattomalla ja 40 mm polyesterivillalla pinnoitetulla yli 4x4 m betoniseinällä. Myös rakenteelle D tehtiin vastaavanlainen kovan ja heijastavan pinnan mittaus (ehyt peltipinta meluesteen takaa). Meluestevalmistajien luona mittaukset tehtiin heidän hallitiloissaan. Tutkittavat rakenteet sijaitsivat hallin keskiosissa siten, että ympärillä olevien hallirakenteiden heijastukset eivät vaikuttaneet tuloksiin.

Mittauksissa oli mukana absorptioltaan erilaisia rakenteita. Niistä rakenteet A, C, D ja E olivat reikäpeltipintaisia ja toiminnaltaan reikäresonaattoreita (Heimholz-resonaattoreita). Rakenne B oli toiminnaltaan levyresonaattori. Tähän joukkoon voidaan lukea myös rakenteen E takapuolelta tehdyt mittaukset. Mittauksia tehtiin kaikkiaan 32 joista 5 oli ääneneristävyyksmittauksia ja loput heijastavuusmittauksia.

Perusrakenteille tehtiin ääneneristävyyks- ja heijastavuusmittaukset standardien EN 1793-5 ja EN 1793-6 mukaisesti. Melusteillä ja niiden variaatioilla selvitettiin niille menetelmällä EN 1793-5 saatavia heijastusindeksejä ja yksilukuarvoisia heijastavuuksia/absorptiota.

Tiehankkeen tilaaja vaatii toisinaan rimoituksen meluseinän pintaa parantamaan ulkonäköä ja vähentämään töhrimistä. Haluttiin selvittää, miten valmistajan suoritus-tasoilmoituksessa ilmoitettua  $DL_{RI}$  -arvoa pitää muuttaa rimoituksen vuoksi. Rimoitukset oli asennettu suoraan meluesteen pintaan tai n. 20–30 mm irti pinnasta. Näitä mittauksia tehtiin rakenteille B, D ja E.

Toistomittauksia tehtiin vain rakenteelle D. Tällä rakenteella tehtiin toistomittaus tarkalleen samassa mittauspisteessä sekä muuttamalla mittauslaitteiston paikkaa 50 mm sivusuunnassa tai muuttamalla mittauslaitteiston kulmaa ( $3,6^\circ$  ja  $7,2^\circ$ ) meluesteen pintaa nähden. Standardi SFS-EN 1793-5 ei heijastavuuden osalta vaadi pilarikohdan mittaamista. Tässä tutkimuksessa mitattiin heijastavuuden osalta myös joitakin pilarikohtia sen selvittämiseksi, poikkeako tulos olennaisesti itse elementtikohdan tuloksesta. Näin mittausmenetelmän toistettavuutta voitiin tarkastella myös pilarikohtien mittaustulosten perusteella ja tekemällä laskennallisia tarkasteluja eri taajuusalueilla.

Vanhenemisilmiöiden vaikutusta tutkittiin rakenteella D. Vanhenemisilmiöistä tutkittiin ajan saatossa mahdollisesti tapahtuvan villan painumisen vaikutusta sekä pinnan likaantumisen vaikutusta kastelemalla ja hiekoittamalla meluesteen pintaa. Villan absorptiokyvyn vähenemistä ajan saatossa tutkittiin myös pienentämällä käytetyn noin 100 mm paksun villan paksuutta puoleen.

Mitatut rakenteet tuloksineen on esitetty tarkemmin luvussa 6 taulukossa 3.



## 6 Heijastavuusmittausten tulokset ja tulosten tarkastelu

### 6.1 Yksilukuarvoiset tulokset

Yksilukuarvoinen äänen heijastavuus  $DL_{RI}$ , dB (200-5000Hz), on esitetty alla olevassa taulukossa 3.

*Taulukko 3. Mitatut rakenteet ja äänen heijastavuuden tulokset taajuusalueella 200–5000Hz, dB. Suluissa esitetyt tulokset on vertailun vuoksi laskettu myös taajuusalueella 200 – 2000 Hz.*

Mittaus n:o	Rakenne	$DL_{RI}$ (dB) elem./pilari
1	Testirakenne / Akustisesti kovan seinän mitta	1,5 (1,5)
2	Testirakenne / kova seinä + polyesterivilla 40 mm	3,7 (3,5)
3-4	Perusrakenne A + reikäpelti 0,6 mm, rei'itys Ø 4 mm, rei'ityssuhde 30 % (koko alasta)/ ilmarako 98 mm /50 mm sementtilastulevy/ tiivis puukuitu-sementtilevy	4,6 (4,6) / 4,9 (4,9)
7-8	Perusrakenne B sementtilastuvillalevy / ilmarako 98 mm / sementtilastuvillalevy / puukuitusementtilevy	3,5 (3,6) / 3,2 (3,1)
9-10	Perusrakenne B + vaakarimoitus (ilmarako levyyn nähden 22 mm) peitto n. 30 %	5,6 (5,9) / 4,5 (4,4)
11-12	Perusrakenne C + reikäpelti 0,6 mm, rei'itys Ø 2 mm, rei'ityssuhde 25 % (koko alasta)/ ilmarako 60mm / villa 90mm/polymeerikomposiittilevy	5,1 (5,1) / 5,5 (5,5)
13-14	Perusrakenne D, reikäpelti 1 mm, rei'itys Ø 3 mm, rei'ityssuhde 30 % (koko alasta) / ei ilmarakoa / polyesterivilla n. 90 mm / alumiini 3,5 mm	10,1 (10,0) / 8,4 (10,8)
17	Perusrakenne D, pellissä kiinni oleva pystyneliörimoitus k100 50x50 mm, peittosuhte 50 %	6,8 (7,3)
18	Perusrakenne D, (neliörimoitus) heijastavuuden toistomittaus / siirto 50 mm	6,8 (7,6)
19	Perusrakenne D, pystyyn kolmiorimoitus k100 50x35x35 mm, peittosuhte n. 50 %	7,1 (8,1)
20-21	Perusrakenne D, kolmiorimoitus heijastavuuden toistomittaukset kulmilla (3,6° ja 7,2°)	7,1 (7,9) ja 7,0 (7,9)
22	Perusrakenne D, pystyyn neliörimoitus k100 28x50 mm, peittosuhte n. 28 %	7,2 (7,5)
23	Perusrakenne D, heijastavuuden toistomittaus rimojen poiston jälkeen	10,3 (10,2)
24	Perusrakenne D, villan kastelu vedellä, hiekan lisääminen villan pintaan	9,6 (10,3)
25	Perusrakenne D, n. 1 mm hiekkaa lisätty enemmän pintaan	8,7 (9,1)
26	Perusrakenne D, reikäpellin takana ilmarako n. 45 mm ja villaa 45 mm 90 mm sijaan	5,4 (5,4)
27	Perusrakenne D, villan korkeutta vähennetty 15%	7,4 (7,4)
28	Perusrakenne E, reikäpelti 1 mm rei'itys Ø 4 mm, rei'ityssuhde 20 % / ilmarako 15 mm / villa 75 mm / ehyt pelti, mitta edestä (reikäpelti)	5,1 (5,9)
30	Perusrakenne E, ehyt pelti 1 mm / villa 75 mm / ilmarako 15 mm 75 mm / reikäpelti mitta takaa (ehyt pelti)	1,6 (1,6)
31	Perusrakenne E, 50x50 mm vaakaan neliörimoitus k 100 (ilmarako levyyn nähden 30 mm) peittosuhte 50 %, mitta edestä (reikäpelti)	5,5 (6,2)
32	Perusrakenne E, takana 50x50 mm vaakaan neliörimoitus k 100 (ilmarako levyyn nähden 30 mm) peittosuhte 50 %, mitta takaa (ehyt pelti)	1,9 (1,9)

Yksilukuarvoisissa tuloksissa äänen heijastavuus/absorptio esitetään yhtenä lukuarvona,  $DL_{RI}$ , jossa on otettu huomioon eri taajuudet käyttäen standardin EN 1793-3 (/10/) mukaisen tieliikennemelumepäinotusta. Vertailun helpottamiseksi taulukon 3 arvot on laskettu yhden desimaalin tarkkuudella, koska standardin vaatimasta pyöristyksestä kokonaislukuun johtuen jopa 0,1 dB:n erot aiheuttavat kokonaislukuun yhden dB:n ero.

Mittauksesta 1 ja 30 nähdään, että kovalta betonipinnalta ja teräspinnalta saatiin sama tulos 1,5 dB.

Mittausten 3–4, 11–12 ja 13–14 pinnaltaan rei'itetyistä rakenteista, joissa reikien osuus oli 30 % saatu tulos oli noin 5 dB, kun rakenteen sisällä oli sementtilastuvilla-levy, ja noin 10 dB, kun rakenteen sisällä oli kauttaaltaan huokoista villaa. Mittauksessa 28, jossa reikien osuus oli noin 20 % ja villaa noin 80 % kasetin paksuudesta, tulos oli noin 5 dB.

Rimoituksen vaikutusta tutkittiin erilaisissa rakenteissa. Mittausten 17–22 mukaan suoraan reikäpellin päälle kiinnitetty 50 % reikäpellin pinta-alasta peittävä puurimoitus pienensi mittausten 13–14 tuloksen arvosta 10 arvoon 7 dB. Tämä oli odotettua, koska rimat peittivät ääntä imeviä reikiä ja villa vaimensi jo alun perin reikäpellin värähtelyä. Mittausten 28 ja 30–32 mukaan meluesteen pinnasta irrotetulla 50 % ehyen tai reikäpellin pinta-alasta peittävä puurimoitus ei juuri ollut vaikutusta. Sen sijaan mittauksissa 9–10 noin 30 % ehyen sementtilastuvilla pinta-alasta peittävä pinnasta irrotettu rimoitus suurensi mittausten 3–4 tuloksen arvosta 3,6 dB arvoon 5,6 dB. Tulos voi johtua siitä, että rimat ja niiden aluspuut vähensivät levyn värähtelyä, jota muut seinäelementin materiaalit eivät vaimentaneet.

Mittausten toistettavuutta tutkittiin useissa mittaussarjoissa. Mittauksessa 18 mitauskohtaa siirrettiin 50 mm ja mittauksissa 20–21 myös mittauskulmaa muutettiin alkuperäiseen mittaukseen verrattuna. Näillä mittauksilla pyrittiin selvittämään mittauksien toistettavuutta kenttäolosuhteissa, joissa mittareiden paikat voivat vaihdella eri kerroilla. Yksiarvoinen heijastavuus/absorptiotulos ei muuttunut (kuva 3). Mittauksien perusteella havaittiin, että mittaukset ovat myös kenttäolosuhteita ajatellen varsin toistettavia taajuusalueella 200–2500 Hz. Mittaus 23 tehtiin rimojen purkamisen jälkeen. Tulos on sama kuin ennen rimojen asentamista mittauksessa 13 saatu tulos (kuva 6). Toistomittauksina voidaan pitää osin elementin ja pilarin kohdalta tehtyjä mittaussarjoja 3–4, 11–12 jne. ja niissäkin saatiin lähes yhteneviä tuloksia.

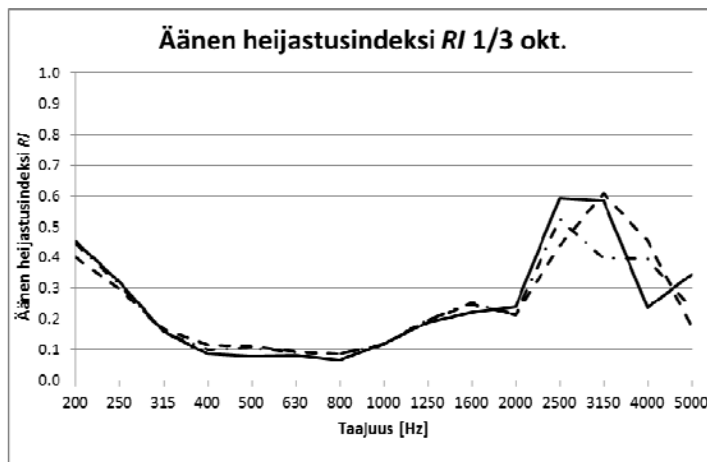
Mittauksissa 24–27 tutkittiin ikääntymisen vaikutusta tekemällä villaan keinotekoisesti muodonmuutoksia tai likaamalla ja kastelemalla meluesteen pintaa. Näissä kaikissa oli vertailukohtana rakenne D, jossa 100 mm paksuisessa kasetissa rei'itetyn alumiinilevyn takana oli 90 mm polyesterivillalevyä. Mittausten 24 ja 25 mukaan meluesteen pinnan likaaminen ja kasteleminen alensi mittausten 13–14 tulosta 10,1 dB tulosta enimmillään arvoon 8,7 dB riippuen hiekan määrästä (enimmillään 1 mm). Nähdään, että veden ja lian vaikutus on kyseisellä testijärjestelyllä jäänyt odotuksien vastaisesti vähäiseksi.

Villan paksuuden ohentaminen puoleen ja noin 45 mm tyhjän tilan synnyttäminen reikäpellin taakse vähensi mittauksen 13 arvon 10,1 dB mittauksessa 26 arvoon 5,4 dB. Tämä johtui siitä, että villan absorptiokyky pieneni ja siitä, ettei villa enää vaimentanut reikäpellin värähtelyä. Mittauksessa 27 villan korkeutta pienennettiin 15 % jokaisessa 200 mm korkuisessa kasetissa. Tulos pieneni arvosta 10,1 dB arvoon 7,4 dB.

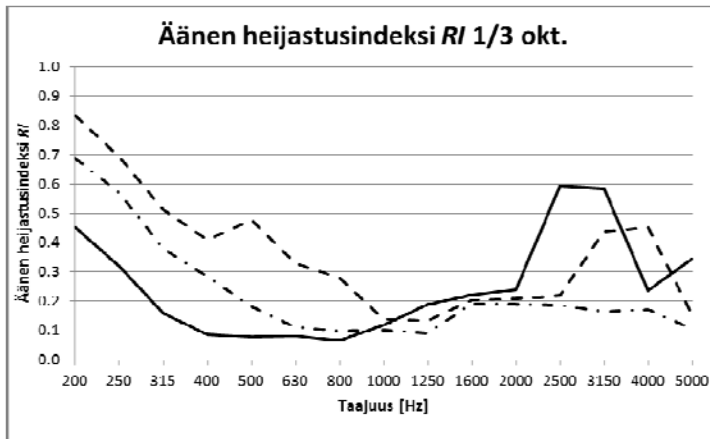
## 6.2 Eri taajuuksia koskevia havaintoja ja toistettavuus

Kaikista rakenteista määritettiin äänen heijastuminen EN 1793-5 mukaisesti kaikilla taajuuksien 1/3 oktaavikaistoilla erikseen. Tuloksista voidaan todeta seuraavaa:

- Mittauksissa 13 ja 14 mittauspiste ja kulma sekä mitattava rakenne oli sama, mutta taajuusalueella 2000...5000 Hz tuloksissa oli eroja, vaikka  $DL_{RI}$  -arvo oli sama.
- Mittauksissa 17...21 mittauskohdan tai -kulman muutos rimoitettua pintaa mitattaessa ei muuttanut  $DL_{RI}$ -arvoa, mutta taajuusalueella 2000...5000 Hz tulokset poikkesivat toisistaan (kuva 2).
- Mittauksissa 13, 17 ja 19 rimojen muoto ei muuttanut  $DL_{RI}$  -arvoa, mutta taajuusalueella 1600...5000 Hz tuloksissa oli eroja. Erot näkyivät yksittäisinä piikkeinä alueen yksittäisissä taajuuksissa.
- Mittauksissa 13, 26 ja 27 villan vähentäminen kasetin sisällä suurensi äänen heijastusindeksiä  $RI$  (ja heikensi  $DL_{RI}$  -arvoa) varsinkin alle 1000 Hz taajuuksilla ja  $DL_{RI}$  -arvo huononi tuntuvasti (kuva 3).
- Mittauksissa 13, 24 ja 26 villan kastelu ja likaaminen suurensi äänen heijastusindeksiä taajuusalueella 800...5000 Hz (kuva 4).

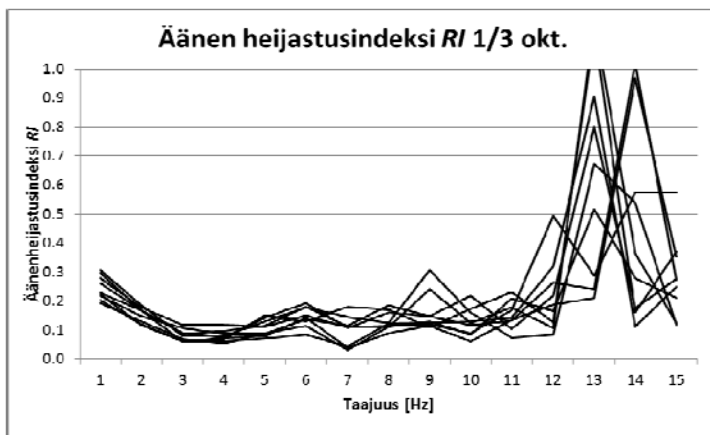


Kuva 3. Mittausten toistettavuuden arviointi: mittauskulman vaikutus. Kolmio-rimoitettu melueste. Kohtisuoraan mittaus no: 19 = yhtenäinen viiva, kulma 3,6° mittaus 20 = katkoviiva ja kulma 7,5° mittaus n:o 21 = piste-katkoviiva). Kaikissa mittauksissa  $DL_{RI} = 7$  dB



Kuva 4. Villamäärän vaikutus. Mittaus no: 13 = yhtenäinen viiva  $DL_{RI} = 10$  dB, mittaus n:o 26 villaa 45 mm kerros = katkoviiva  $DL_{RI} = 5$  dB ja mittaus n:o 27 = 90 mm paksun villankorkeutta vähennetty 15 %)  $DL_{RI} = 7$  dB.

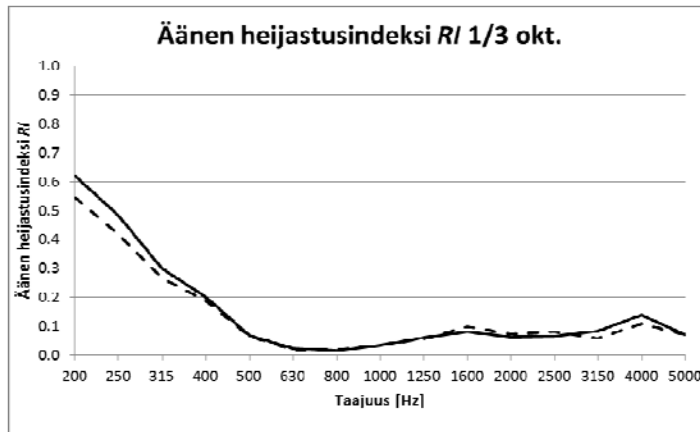
Meluestemittauksissa varsinkin yli 2000 Hz mittausalueella havaittiin heijastavuuskertoimissa selviä piikkejä varsinkin mitattaessa pilarikohtia ja rimoituksia. Myös yksittäisten mikrofoni-pisteiden tulokset hajoavat yli 2000 kHz:n taajuuksilla. Ilmiön syytä ei tunnistettu (kuva 5).



Kuva 5. Heijastavuus indeksit mikrofoni pisteittäin mittauksessa 18, jossa pintaan asennettu neliörimoitus.

Taulukkoon 3 on merkitty suluissa arvot, jotka saataisiin laskemalla  $DL_{RI}$  -arvo vain taajuualueelta 200–2000 Hz). Tulos on jonkin verran toistettavampi kuin koko alueelta laskettu arvo, joka sekin on samalla laitteella mitattuna melko hyvin toistettava, johtuen lähinnä käytetystä tiemeluspektripainotuksesta.

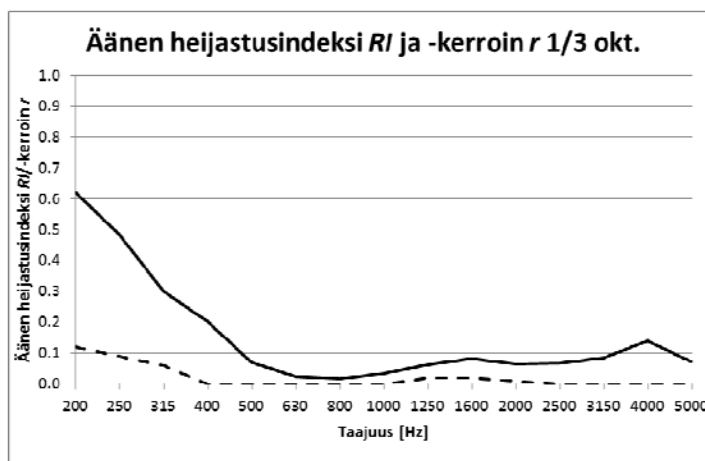
Kuvassa 6 on esitetty mittauksen 13 ja tehdyn toistomittauksen (mittaus n:o 23) tulokset. Kuten kuvasta voidaan nähdä, mittaustulokset ovat hyvin samankaltaiset. Tämä osoittaa, että mittausten toistettavuus on hyvä, vaikka yksittäisissä mikrofoni-pisteissä hajonta saattaa olla huomattavaa.



Kuva 6. Mittausten toistettavuuden arviointi. Molempien mittausten  $DL_{RI} = 10$  dB (mittaus no: 13 = yhtenäinen viiva ja mittaus n:o 23 = katkoviiva).

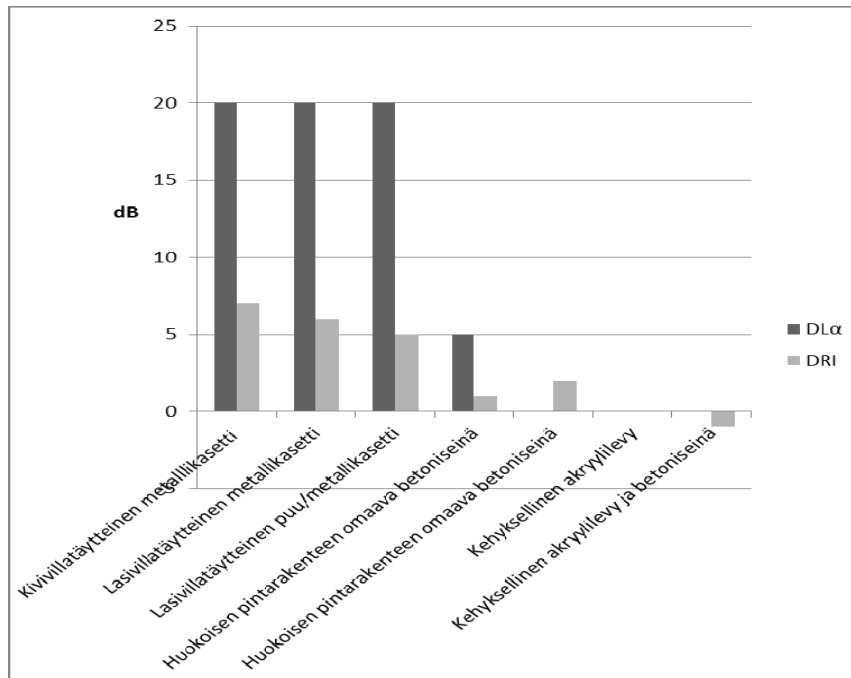
## 6.3 Laboratorio- ja kenttämittausten menetelmien tulosten vertailua

Kuvassa 7 on esitetty vertailua äänen heijastavuusindeksin (EN 1793-5) ja laboratoriomittausmenetelmän (EN 1793-1) absorptiotuloksista laskettavan äänen heijastavuuskertoimen välillä. Kuvasta havaitaan, että laboratoriomittauksella (EN 1793-1) saadaan suurehko  $DL_{\alpha}$ -arvo verrattuna kenttämenetelmän tuottamaan  $DL_{RI}$ -arvoon johtuen varsinkin matalista taajuuksista. Koska laboratoriossa tehtävä absorptiomittaus poikkeaa luonteeltaan täysin heijastuvuusmittauksesta, ei  $DL_{RI}$ -arvon ja laboratoriomittauksissa saatavaan  $DL_{\alpha}$ -arvon välille pystytä määrittämään yleispätevää suhdetta tai erotusta.



Kuva 7. Mittauksen 13 äänen heijastavuusindeksi RI menetelmän EN 1793-5 mukaan (yhtenäinen viiva) ja vastaavan aiemmin mitatun meluesteen äänen heijastavuuskerroin  $r$  ( $r=1-\alpha$ ) laboratoriomenetelmän EN 1793-1 mukaan (katkoviiva).  $DL_{RI}=10$  dB ja  $DL_{\alpha}=15$  dB.

Kuvassa 8 on esitetty taulukon 2  $DL_{RI}$ -arvo pylväsdiagrammina. Äänenheijastavuuden mittausten tuloksien on havaittu poikkeavan huomattavasti laboratoriossa saaduista  $DL_{\alpha}$ -arvoista. Lisäksi rakenteiden paremmuusjärjestys vaihtuu, kun menetelmä vaihtuu. Tehtyjen vertailujen pohjalta voidaan todeta, ettei eri menetelmillä saatujen tuloksien välillä ole suoraviivaista korrelaatiota.



Kuva 8. Taulukon 2 äänen heijastavuus/absorptio menetelmän EN 1793-5 ja EN 1793-1 mukaan.

## 7 Eristävyyden mittaus

Rakenteista A, D ja E mitattiin myös eristävyys standardin EN 1793-6 mukaisesti. Tulokset ovat taulukossa 4. Tuloksista nähdään, että tutkittujen rakenteiden eristävyys on melusteille tyypillinen. Se miten paljon läpi päässyt ääni on vaikuttanut äänen heijastavuustuloksiin ei ole tiedossa.

*Taulukko 4. Mitatut rakenteet ja äänen eristävyden tulokset, dB.*

Mittaus n:o		Eristävyys $DL_{SI,E}$ (dB)	Eristävyys, pilari $DL_{SI,P}$ (dB)
5-6	Perusrakenne A + reikäpelti 0,6 mm, rei'itys Ø 4 mm, rei'ityssuhde 30 % (koko alasta) / ilmarako 98 mm / 50 mm sementtilastulevy / tiivis puukuitu-sementtilevy	32	29
15-16	Perusrakenne D, reikäpelti 1 mm, rei'itys Ø 3 mm, rei'ityssuhde 30 % (koko alasta) / ei ilmarakoa / polyesterivilla n. 90 mm / alumiini 3,5 mm	28*	21
29	Perusrakenne E, reikäpelti 1 mm rei'itys Ø 4 mm, rei'ityssuhde 20 % / ilmarako 15 mm / villa 75 mm / ehyt pelti, mittaus edestä (reikäpelti)	34	

\* aiemmassa laboratoriomittauksessa samalle melusteelle saatu tulos  $DL_R = 28$  dB (A)

## 8 Johtopäätökset

Lukuun ottamatta akustisesti kovilla pinnoilla tehtyjä mittauksia  $DL_{RL}$ -arvot vaihtelivat välillä 4–10 dB. Erityyppiset esteet poikkesivat varsin paljon toisistaan heijastavuuden osalta.

Nyt tehtyjen mittausten tulokset poikkeavat osittain kirjallisuudesta saatavista tuloksista etenkin hyvin absorboivien reikäpeltipintaisten melusteiden osalta, joilla nyt saadut  $DL_{RL}$ -arvot olivat suuria. Todennäköisesti kirjallisuudessa esitetyt rakenteet poikkeavat nyt mitatuista.

Heijastavuusmittaus standardin EN 1793-5 mukaisella menetelmällä poikkeaa varsin paljon laboratorioissa tehtävästä absorptiomittauksesta. Uusi mittausmenetelmä antaa lähikentässä äänen heijastumisen osalta täsmällisempää tietoa rakenteen käyttäytymisestä. Menetelmällä EN 1793-5 saatuja  $DL_{RL}$ -arvoja ei tule verrata laboratoriomittauksilla saataviin -arvoihin.

Standardin mukaiset koko 200–5000 Hz taajuusalueelta lasketut  $DL_{RL}$ -arvot eivät juuri poikenneet 200–2000 Hz taajuusalueelta lasketuista vastaavista arvoista. Tämä selittyy varsinkin yksilukuarvoisen heijastavuuden laskennassa käytetyn tiemelu-spektrin painotuksesta, joka vähentää huomattavasti suurten taajuuksien tehollista osuutta. Tulosten perusteella  $DL_{RL}$ -arvo näyttää varsin toistettavalta 200 Hz:stä aina noin 5000 Hz taajuuteen asti huolimatta odottamattoman suuresta yksittäisten mittauspisteiden tulosten hajonnasta. Mittausten perusteella ei voida sanoa, mistä heijastusmittausten poikkeamat joillakin yksittäisillä taajuuksilla johtuvat. Toisaalta ne eivät vaikuttaneet merkittävästi itse tulokseen. Jatkossa seurantamittauksissa on kuitenkin tulosten luotettavuutta pyrittävä parantamaan korkeammilla taajuuksilla, mikäli niissä havaitaan outoa käyttäytymistä. Tulosten oikeellisuutta voisi tällöin arvioida laskemalla heijastuminen myös kapeammalla taajuusalueelta (esim. 200–2000 Hz).

Mittauksia voidaan pitää toistettavina ja uusittavina. Nyt tehtyjen mittausten perusteella uusi standardi EN 1793-5 soveltuu melusteiden elementtien absorption mittausten menetelmäksi. Se tuo riittävän selvästi esiin eri melusterakenteiden erot. Verratuna vanhaan mittausmenetelmään sen tuomat uudet luvut ovat karkeampia kuin vanhat ja tuovat tässä mielessä parannusta laboratoriomittausten tuomiin liiankin tiheäjakoiseen arviointiin.

CE-merkintää varten mitataan aina vähintään 4 m korkuista seinää. Uudella mittausmenetelmällä ja sen mittaluvuilla voidaan myös seurata esimerkiksi melusteen ikääntymisen vaikutusta pitemmän ajan kuluessa myös alle 4 m korkeilla melusteillä. Seuranta vaatii kuitenkin erillisen alkumittauksen, jos seinän korkeus on alle 4 m. Takuuajana 3 m korkuisesta esim. 5 vuotta käytössä olleesta seinästä mitattuja arvoja ei saisi suoraan verrata valmistajan CE-merkinnän yhteydessä saamiin tuloksiin.

Erilaisten dekoratiivisten rimoitusten vaikutukset olivat hieman ristiriitaisia varsinkin pinnasta irrotettujen rimoitusten absorptiota lisäävän vaikutuksen osalta. Tulosiippuu mm. siitä, onko reikäpellin värähtely estetty jotenkin jo ennen rimojen kiinnitystä. Asia vaatii jatkossa lisätutkimusta. Lisätutkimusta jatkossa tarvitaan myös pinnan likaantumisen ja villan mahdollisen vettymisen vaikutuksen osalta, koska nyt tehdyllä koejärjestelyllä vaikutus jäi yllättävän vähäiseksi. Myös heijastuvan melun



todellista vaikutusta melutasoon eri etäisyyksillä ja taajuuksilla tulisi selvittää tarkemmin.

Uusi heijastavuuden standardi EN 1793-5 ei edellytetä pilarikohdan mittaamista. Tämä on oikeasuuntainen ratkaisu, koska pilariosuus jää teholliselta alaltaan vähäiseksi. Sitä vastoin ääneneristävyyden standardi EN 1793-6 edellyttää pilarikohdan mittaamista. Kehitettäessä jatkossa eurooppalaisia meluestestandardien tulisi miettiä tarkasti tulisiko ainakin globaaliarvon esittämisestä luopua kokonaan, koska se ehkä hieman virheellisenä (painottaa liikaa pilarikohtaa) ja voi johtaa virhepäätelmiin. Esimerkiksi seurantamittauksia ja tehtäviä arviointeja silmällä pitäen melueste-elementin ja yksittäisen pilarin ääneneristävyystulokset (mikäli pilariosuus halutaan säilyttää osana mittauksia ja seurantaa) ovat erillisinä riittäviä. Toisaalta myös koko pilariosuuden ääneneristävyysmittaus on kyseenalainen, koska pienten työvirheiden (esimerkiksi rako pilarin ja elementin välissä) voi saada tarkasteluissa liian suuren painoarvon (pilarin ääneneristävyyden merkitys jää vähänkään kauempana meluesteestä äänikenttää tarkasteltaessa vähäiseksi). Lisäksi jatkokehityksen kannalta olisi suotavaa, että standardi ottaisi selvästi kantaa mittausravojen soveltamiseen.

Mikäli tarkastellaan mahdollisia melun haittavaikutuksia ympäristön asukkaille kauempana meluesteestä, niin uuden standardin EN 1793-5 mukaisen menetelmän antamat mittaluvut eivät tähän suoraan sovellu. Tämä sama koskee myös laboratorioissa määritettyjä absorptioarvoja. Haittavaikutuksia ympäristön asukkaille voidaan ehkä parhaiten kuvata melumallinnuksen kautta.

Vanhoja laboratoriotuloksia ja niiden perusteella meluesteille aiemmin asetettuja vähimmäisvaatimuksia äänen absorption osalta ei voi käyttää pohjana annettaessa mahdollisesti uusia mittausrakentamismenettelmään EN 1793-5 perustuvia vaatimuksia. Erilaisien vähimmäisvaatimusten asettaminen kenttämittaustulosten perusteella on kuitenkin mahdollista karkeasti yksilukuarvojen  $DL_{RI}$  avulla esimerkiksi luokkarajoilla 4, 6, 8 ja  $\geq 10$  dB. Nämä arvot vastaavat meluesteen pinnasta lähikenttään heijastuvan melun osalta (olettaen että heijastuva aalto on erivaiheinen kuin esteeseen kohdistuva ääniaalto) 1,5 dB, 1 dB, 0,6 dB ja 0,4 dB:n melun kokonaislisäystä hieman kauempana meluesteestä olevan havainnoijan kannalta.

Liikenneviraston ohjeessa Tien meluesteiden suunnittelu pidetään ääntä absorboivana meluestettä, jonka EN 1793-1 mukainen  $DL_{\sigma}$ -arvo on vähintään 8 dB. EN 1793-5 mukaisille  $DL_{RI}$ -arvolle ei voida määrittää sellaista raja-arvoa, että nykyisin  $DL_{\sigma}$ -arvon 8 dB ylittävät tuotteet ja vain ne ylittäisivät jonkun tietyn  $DL_{RI}$  -arvoille. EN 1793-5 mukaisissa testeissä tuotteiden paremmuusjärjestys ei ole sama kuin EN 1793-1 mukaisissa testeissä.

## Lähteet

- /1/ GARAI M., GUIDORZI P. "Experimental verification of the European methodology for testing noise barriers in situ: sound reflection" (invited paper), Proc. Inter-Noise 2000, Nice, France, 477-482 (2000)
- /2/ GARAI M., GUIDORZI P. In situ measurements of the intrinsic characteristics of the acoustic barriers installed along a new high speed railway line. Noise Control Eng. J. 2008, 56 (5) pp. 342-355
- /3/ QUIESST. (2012). Guidebook to noise reducing devices optimisation [Online]. Accessed October 2014; Available from the World Wide Web:  
[http://www.quiesst.eu/images/stories/guidebook\\_JPC\\_19\\_nov\\_2012\\_MC\\_CD\\_MG\\_logos.pdf](http://www.quiesst.eu/images/stories/guidebook_JPC_19_nov_2012_MC_CD_MG_logos.pdf)
- /4/ QUIESST. Final procedural report on WP4 activities: Including public database of European NRD, data analysis and definition of NRD families. Available from the World Wide Web, 2012 [[Online], Accessed October 2014  
[http://www.quiesst.eu/images/QUIESST\\_D4.3\\_MS4.2.pdf](http://www.quiesst.eu/images/QUIESST_D4.3_MS4.2.pdf)
- /5/ EN 1793-1, Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 1: Intrinsic characteristics of sound absorption
- /6/ EN 1793-2, Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 2: Intrinsic characteristics of airborne sound insulation under diffuse sound field conditions
- /7/ EN 1793-4, Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 4: Intrinsic characteristics - In situ values of sound diffraction
- /8/ EN 1793-5, Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 5: Intrinsic characteristics - In situ values of sound reflection under direct sound field conditions
- /9/ EN 1793-6, Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 6: Intrinsic characteristics - In situ values of airborne sound insulation under direct sound field conditions
- /10/ EN 1793-3, Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance – Part 3: Normalized traffic noise spectrum



ISSN-L 1798-6656  
ISSN 1798-6664  
ISBN 978-952-317-417-7  
[www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi)

Liik  
enne  
vira  
sto